

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004年2月5日 (05.02.2004)

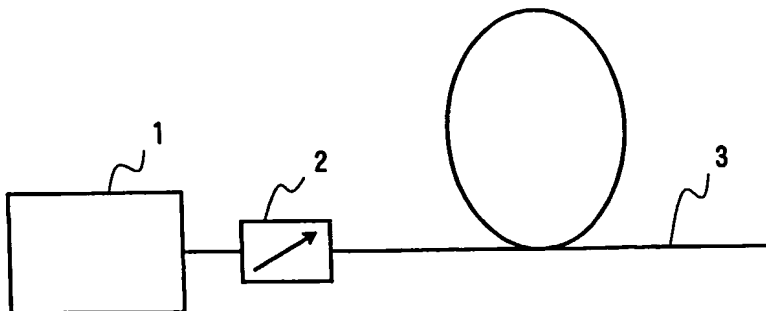
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/012003 A1

- (51) 国際特許分類: G02F 1/35 五色園三丁目2110番地 Aichi (JP). 西澤 典彦 (NISHIZAWA, Norihiko) [JP/JP]; 〒456-0062 愛知県名古屋市熱田区大宝二丁目4番43号 白鳥住宅 5-34 Aichi (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/009241
- (22) 国際出願日: 2003年7月22日 (22.07.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-219278 2002年7月29日 (29.07.2002) JP
- (74) 代理人: 清水 守 (SHIMIZU, Mamoru); 〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町7番地10 大園ビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県川口市本町四丁目1番8号 Saitama (JP).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 後藤 俊夫 (GOTO, Toshio) [JP/JP]; 〒470-0105 愛知県日進市
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: WAVELENGTH-VARIABLE SHORT PULSE GENERATING DEVICE AND METHOD

(54) 発明の名称: 波長可変短パルス発生装置及び方法



(57) Abstract: A device and a method for generating a wavelength-variable short pulse capable of generating a wavelength-variable short pulse light in a visible light wavelength region. When a ultra-short pulse light is beamed into an optical fiber (3), a wavelength-variable ultra-short soliton pulse is generated by a soliton effect and a non-linear optical effect due to Raman scattering. When the time width of this soliton pulse is shortened and a peak strength is increased, a third harmonic having one-third the wavelength can be generated by a tertiary non-linear optical

effect, and using this a visible-light-region short wavelength can be obtained.

(57) 要約: 可視光波長領域における波長可変短パルス光を生成することができる波長可変短パルス発生装置及び方法を提供する。光ファイバ(3)に超短パルス光を入射すると、ソリトン効果とラマン散乱による非線形光学効果によって、波長可変超短ソリトンパルスが生成される。このソリトンパルスの時間幅を短くし、かつピーク強度を高くしてやることにより、3次の非線形光学効果によって波長が1/3の第3高調波を発生させることができ、これを利用して可視光領域短波長を得る。

明 細 書

波長可変短パルス発生装置及び方法

技術分野

本発明は、波長可変短パルス発生装置及び方法に係り、特に光エレクトロニクス、光計測、分光、生体計測の分野において、光ファイバにおける非線形効果を用いて、波長可変短パルス光を生成し、さらにその波長可変短パルス光の第 3 高調波を生成し、短波長帯における波長可変短パルス光を生成する技術に関するものである。

背景技術

本発明者らは、既に、光ファイバと超短パルス光源の組み合わせにより、波長可変短パルス光を生成する技術を開発した（特開 2 0 0 0－1 0 5 3 9 4）。

発明の開示

しかしながら、上記の従来技術では、短波長の可視光波長領域パルス光を発生させることはできなかった。

本発明は、上記状況に鑑みて、可視光波長領域における波長可変短パルス光を生成することができる波長可変短パルス発生装置及び方法を提供することを目的とする。

本発明は、上記目的を達成するために、

〔 1 〕 波長可変短パルス発生装置において、超短パルス光源と、この超短パルス光源の出力の特性を調整する光特性調整器と、この光特性調整器からの出力を入射し、ソリトン効果とラマン散乱による非線形光学効果によって波長可変超短パルス光を生成し、さらに 3 次の非線形光学効果によって、前記波長可変超短パルス光の第 3 高調波を生成する光ファイバとを具備することを特徴とする。

〔 2 〕 上記〔 1 〕記載の波長可変短パルス発生装置において、前記光特性調整器が光強度調整器であることを特徴とする。

〔３〕上記〔１〕又は〔２〕記載の波長可変短パルス発生装置において、前記光強度調整器により前記光ファイバへの入射光強度を変化させることにより、パルス光の波長を変位させ、前記第３高調波の波長を制御することを特徴とする。

〔４〕上記〔１〕、〔２〕又は〔３〕記載の波長可変短パルス発生装置において、前記光ファイバの長さを変更することにより、パルス光の波長を変位させ、前記第３高調波の波長を制御することを特徴とする。

〔５〕波長可変短パルス発生方法において、超短パルス光源の出力を光特性調整器を通して光ファイバに入射し、前記光ファイバにおけるソリトン効果とラマン散乱による非線形光学効果によって、波長可変超短パルス光を生成させ、さらに前記光ファイバにおける３次の非線形光学効果によって、前記波長可変超短パルス光の第３高調波を生成させることを特徴とする。

〔６〕上記〔５〕記載の波長可変短パルス発生方法において、前記光特性調整器は光強度調整器であることを特徴とする。

〔７〕上記〔５〕又は〔６〕記載の波長可変短パルス発生方法において、前記光強度調整器により前記光ファイバへの入射光強度を変化させることにより、パルス光の波長を変位させ、前記第３高調波の波長を制御することを特徴とする。

〔８〕上記〔５〕、〔６〕又は〔７〕記載の波長可変短パルス発生方法において、前記光ファイバの長さを変更することにより、パルス光の波長を変位させ、前記第３高調波の波長を制御することを特徴とする。

図面の簡単な説明

第１図は、本発明にかかる波長可変短パルス発生装置の概念図である。

第２図は、本発明の第１実施例を示す波長可変超短パルス発生装置のブロック図である。

第３図は、本発明の第２実施例を示す波長可変超短パルス発生装置のブロック図である。

第４図は、本発明の実施例のソリトンスペクトルを示す図である。

第５図は、本発明の実施例の波長可変ソリトンパルスの自己相関波形の観測結果を示す図である。

第 6 図は、本発明の実施例で生成された第 3 高調波のスペクトルの観測結果を示す図である。

第 7 図は、本発明の実施例で生成された第 3 高調波パルスの波長シフトのファイバ長依存性を示す図である。

第 8 図は、本発明の実施例で生成される第 3 高波長パルスの波長のファイバ入射光強度依存性を示す図である。

第 9 図は、本発明の実施例のファイバ表面から散乱された第 3 高調波の観測写真（代用図面）を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

第 1 図は本発明にかかる波長可変短パルス発生装置の概念図である。

この図において、1 は超短パルス光源、2 はこの超短パルス光源 1 に接続される光強度調整器、3 はその光強度調整器 2 に接続される光ファイバである。

超短パルス光源 1 の出力を光強度調整器 2 を通し、光ファイバ 3 に入射すると、光ファイバ 3 における非線形光学効果（ここではソリトン効果とラマン散乱の効果）によって波長可変超短パルス光が生成される。さらに、光ファイバ 3 における 3 次の非線形光学効果によって、波長可変超短パルス光の第 3 高調波が生成される。

波長可変超短パルス光の波長は、光強度調整器 2 により光ファイバ 3 への入射光強度を変化させることによって変位させることができ、それによって前記第 3 高調波の波長も制御することができる。

また、同様に光ファイバ 3 の長さを変更することによっても、パルス光の波長を変位させ、前記第 3 高調波の波長も制御することができる。

第 3 高調波の生成について詳細に述べると、上記したように、光ファイバ 3 に超短パルス光を入射すると、ソリトン効果とラマン散乱とによって、波長可変超短ソリトンパルスが生成される。この波長可変超短ソリトンパルスの時間幅を短くし、かつピーク強度を高くしてやることにより、3 次の非線形効果によって波長が $1/3$ の第 3 高調波を発生させ、これを利用して可視光領域短波長を得るこ

とができる。

第2図は本発明の第1実施例を示す波長可変超短パルス発生装置のブロック図である。

この図において、11は超短パルス光源としてのフェムト秒ファイバレーザ、12はそのフェムト秒ファイバレーザ11に接続される光強度調整器、13はその光強度調整器12に接続されるチョッパ、14はそのチョッパ13に接続される定偏波ファイバ、15は定偏波ファイバ14に接続される分光器、16は分光器15に接続される光電子増倍管、17はチョッパ13および光電子増倍管16に接続されるロックインアンプ、18は分光器15およびロックインアンプ17に接続されるパーソナルコンピュータ（PC）である。

励起光源にはフェムト秒ファイバレーザ（超短パルス光源）11を用い、光強度調整器12は、波長板と偏光光分岐器を用いて構成した。また、定偏波ファイバ14にはコア径が6 μm と細い、偏波保持ファイバを用いた。

光強度調整器12の出力をチョッパ13に通し、定偏波ファイバ14に入射する。定偏波ファイバ14の出力は分光器15に通し、その出力を光電子増倍管16を用いて検出する。また、この光電子増倍管16からの出力をロックインアンプ17を用いて増幅する。ロックインアンプ17にはチョッパ13からの信号が入力される。ロックインアンプ17、分光器15はパーソナルコンピュータ18それぞれに接続し、自動計測システムを構築している。

第3図は本発明の第2実施例を示す波長可変超短パルス発生装置のブロック図である。

この図においては、21は超短パルス光源としてのフェムト秒ファイバレーザ、22はそのフェムト秒ファイバレーザ21に接続される光強度調整器、23はその光強度調整器22に接続される波長板、24はその波長板23に接続される光ファイバ（短尺、細径）、25は波長フィルタ、26は分光器、27は光電子増幅器である。

このように、この実施例では、

①光ファイバ24の入射端には波長板23を配置し、偏光方向の調整（複屈折軸に平行になるよう）を行うことができる。

②また、光ファイバとして偏波保持ファイバを用いることにより、伝搬光の直線偏光を保持することができる。

さらに、光ファイバ24が短尺（10m以下）、細径（6 μ m以下）のものにて異常分散を実現させ、パルスを圧縮することによりピーク強度を上げることができる。

上記①と②の組み合わせで3次非線形効果を得ることができる。

更に、出力端に波長フィルタ25を配置し、第3高調波のみを選択することができる。

第4図は本発明の実施例のソリトンスペクトルを示す図であり、横軸に波長（nm）、縦軸にスペクトル強度（相対単位）を示している。

ここでは、5mの光ファイバの出力において観測した、励起光と波長可変ソリトンパルスの光スペクトルを表している。励起光の長波長側にS e c h 2型の波長可変ソリトンパルスが生成される。ファイバへの入射光の強度は40mWである。

第5図は本発明の実施例の波長可変ソリトンパルスの自己相関波形の観測結果を示す図であり、横軸に時間（ps）、縦軸に強度（相対単位）を示している。

この第5図に見られるように、S e c h 2型に対応する台座成分のない綺麗な波形が観測されている。対応する時間幅は74fsである。

第6図は本発明の実施例で生成された第3高調波のスペクトルの観測結果を示す図であり、横軸に波長（nm）、縦軸にスペクトル強度（相対単位）を示している。

第6図において、第4図に示したソリトンパルスの1/3の波長にパルススペクトルが生成されているのが分かる。

第7図は本発明の実施例で生成された第3高調波パルスの波長シフトのファイバ長依存性を示す図であり、横軸にファイバ長（m）、縦軸にTHG（第3高調波パルスの）波長（nm）を示している。

第7図から明らかなように、ファイバ長が増加するに従って、ソリトン自己周波数シフトによって波長可変ソリトンの波長が長波長側にシフトしていく。それに伴って、生成される第3高調波パルスの波長も長波長側へとシフトしていく。

第3高調波パルスの波長は、波長可変ソリトンパルスの波長の $1/3$ であった。

第8図は本発明の実施例で生成される第3高調波パルスの波長のファイバ入射光強度依存性を示す図であり、横軸はファイバ入射光強度(mW)、縦軸はTHG(第3高調波パルスの)波長(nm)を示している。

第8図から明らかなように、光ファイバへの入射光強度を増加させるにつれて、波長可変ソリトンの波長は線形に長波長側へとシフトしていく。それに伴って、生成される第3高調波の波長も線型に長波長側へとシフトしていく。

第9図は本発明の実施例のファイバ表面から散乱された第3高調波の観測写真(代用図面)を示す図である。

この図に示されるように、光ファイバにおけるパルス光の伝搬に伴って、ソリトンパルスの波長は単調に長波長側へとシフトしていく。それに伴って、生成される第3高調波も緑色、黄色、橙色から赤色へとシフトしていく。第3高調波の波長、あるいは色を観測することで、光ファイバにおけるパルス光の伝搬に伴うパルス光の波長シフトの様子を観測することができる。

上記のように構成したので、可視できる程度に発色した第3高調波を得ることができ、光ファイバの伝達経路に応じて波長が変化していく様子を直接色を目で見て確認することもできるし、光ファイバ途中に周波数計を入れることによって確認できる。

将来的には、光の三原色を一本のファイバで自由に出力する可能性を有しており、その効果は著大である。

なお、上記実施例では、光源と光強度調整器は別個のブロックで図示しているが、光源と光強度調整器を一体化した機能を持たせるようになし、一つのブロックで包括するようにしてもよいことは言うまでもない。

また、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

以上、詳細に説明したように、本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。

(A) 可視波長帯において、入射光強度に対し連続して波長のシフトする波長可変短パルス光を生成させることができる。

(B) 光ファイバにパルス光を通すだけで、第 3 高調波パルスを生成させることができる。

(C) 光ファイバの伝搬に伴う波長可変ソリトンパルスの波長シフトの様子を容易に観測することができる。

産業上の利用可能性

本発明の波長可変短パルス発生装置及び方法は、特に光エレクトロニクス、光計測、分光、生体計測の分野に好適である。

請 求 の 範 囲

1.

(a) 超短パルス光源と、
(b) 該超短パルス光源の出力の特性を調整する光特性調整器と、
(c) 該光特性調整器からの出力を入射し、ソリトン効果とラマン散乱による非線形光学効果によって波長可変超短パルス光を生成し、さらに3次の非線形光学効果によって、前記波長可変超短パルス光の第3高調波を生成する光ファイバとを具備することを特徴とする波長可変短パルス発生装置。

2. 請求項1記載の波長可変短パルス発生装置において、前記光特性調整器が光強度調整器であることを特徴とする波長可変短パルス発生装置。

3. 請求項1又は2記載の波長可変短パルス発生装置において、前記光強度調整器により前記光ファイバへの入射光強度を変化させることにより、パルス光の波長を変位させ、前記第3高調波の波長を制御することを特徴とする波長可変短パルス発生装置。

4. 請求項1、2又は3記載の波長可変短パルス発生装置において、前記光ファイバの長さを変更することにより、パルス光の波長を変位させ、前記第3高調波の波長を制御することを特徴とする波長可変短パルス発生装置。

5.

(a) 超短パルス光源の出力を光特性調整器を通して光ファイバに入射し、
(b) 前記光ファイバにおけるソリトン効果とラマン散乱による非線形光学効果によって、波長可変超短パルス光を生成させ、
(c) さらに前記光ファイバにおける3次の非線形光学効果によって、前記波長可変超短パルス光の第3高調波を生成させることを特徴とする波長可変短パルス発生方法。

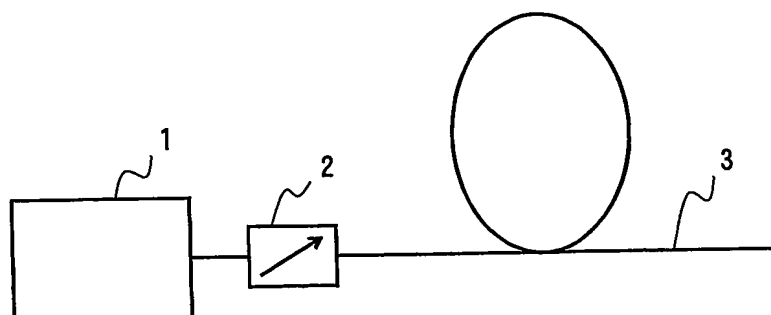
6. 請求項5記載の波長可変短パルス発生方法において、前記光特性調整器は光強度調整器であることを特徴とする波長可変短パルス発生方法。

7. 請求項5又は6記載の波長可変短パルス発生方法において、前記光強度調整器により前記光ファイバへの入射光強度を変化させることにより、パルス光の

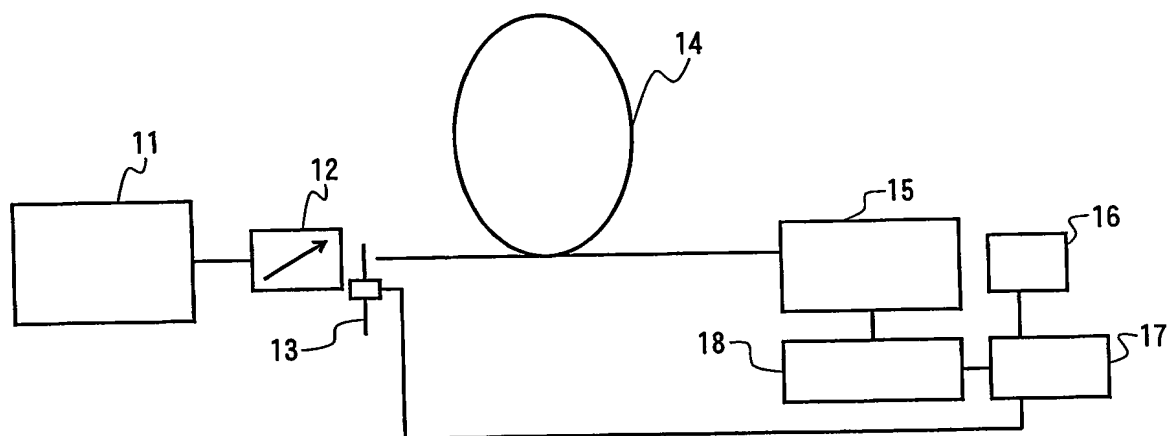
波長を変位させ、前記第 3 高調波の波長を制御することを特徴とする波長可変短パルス発生方法。

8. 請求項 5、6 又は 7 記載の波長可変短パルス発生方法において、前記光ファイバの長さを変更することにより、パルス光の波長を変位させ、前記第 3 高調波の波長を制御することを特徴とする波長可変短パルス発生方法。

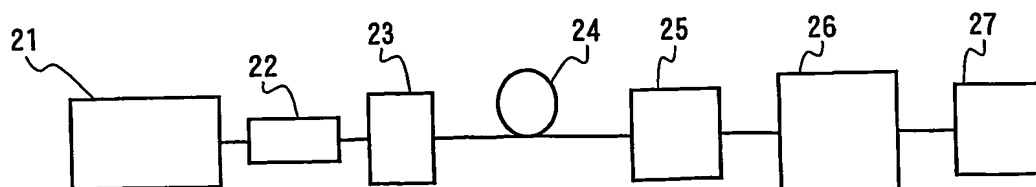
第 1 図



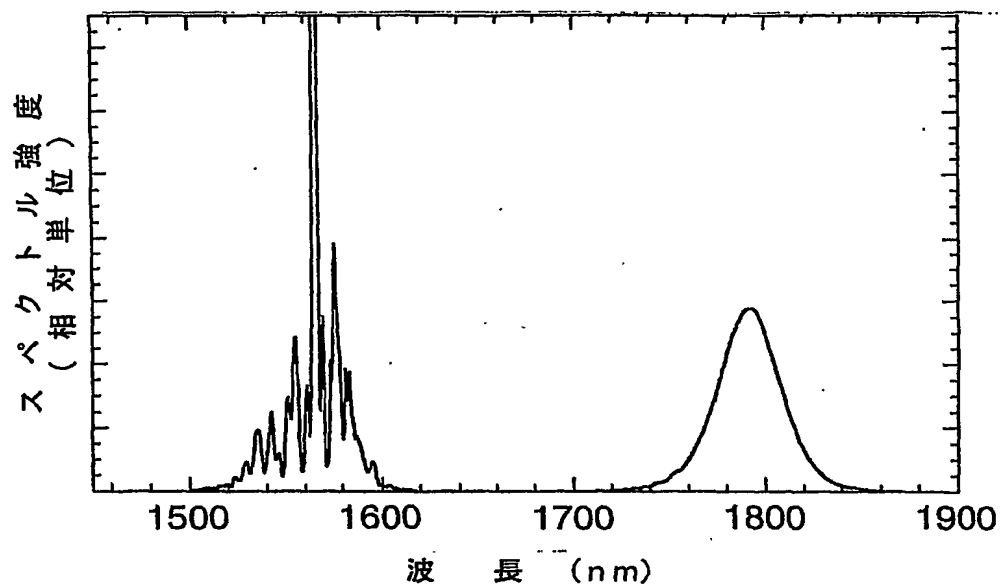
第 2 図



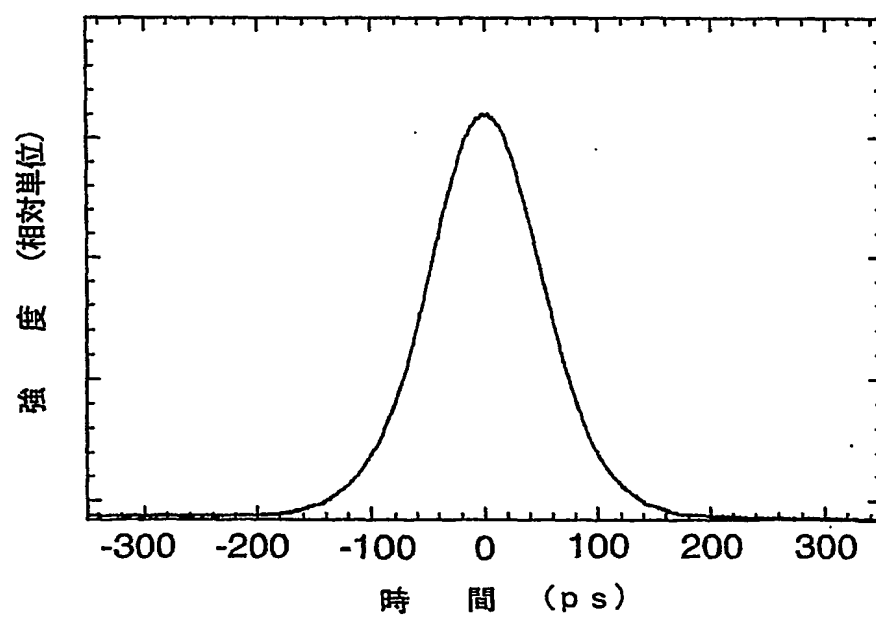
第 3 図



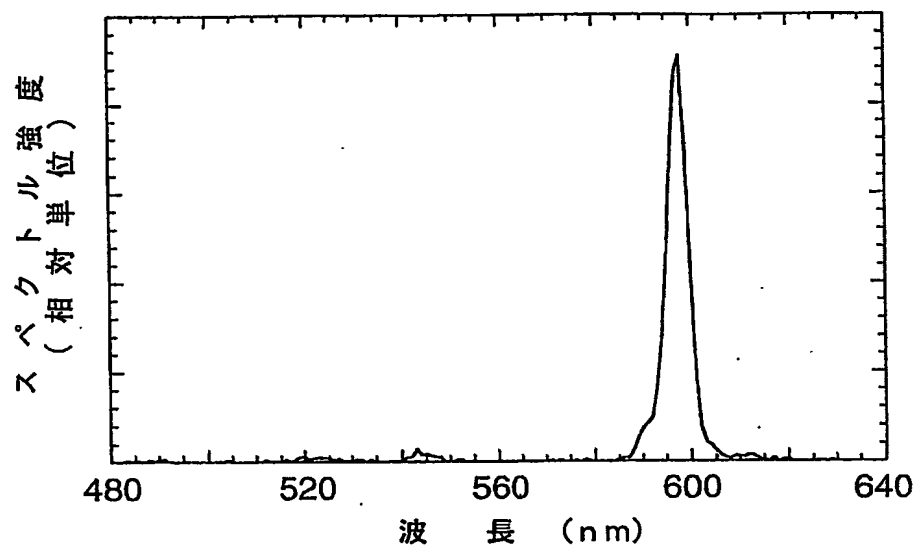
第 4 図



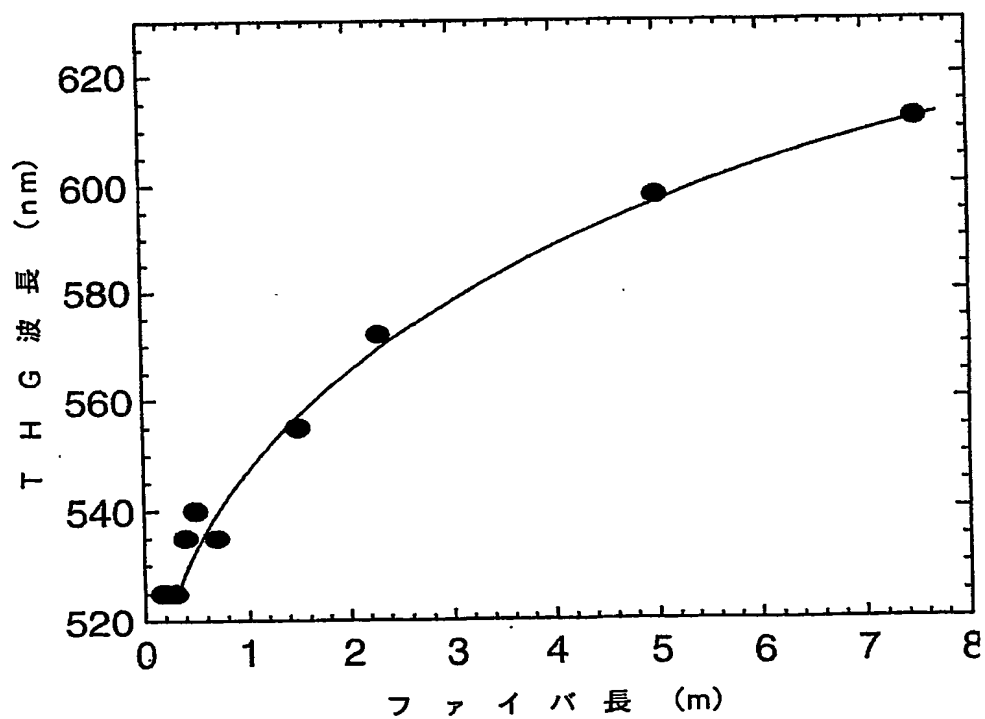
第 5 図



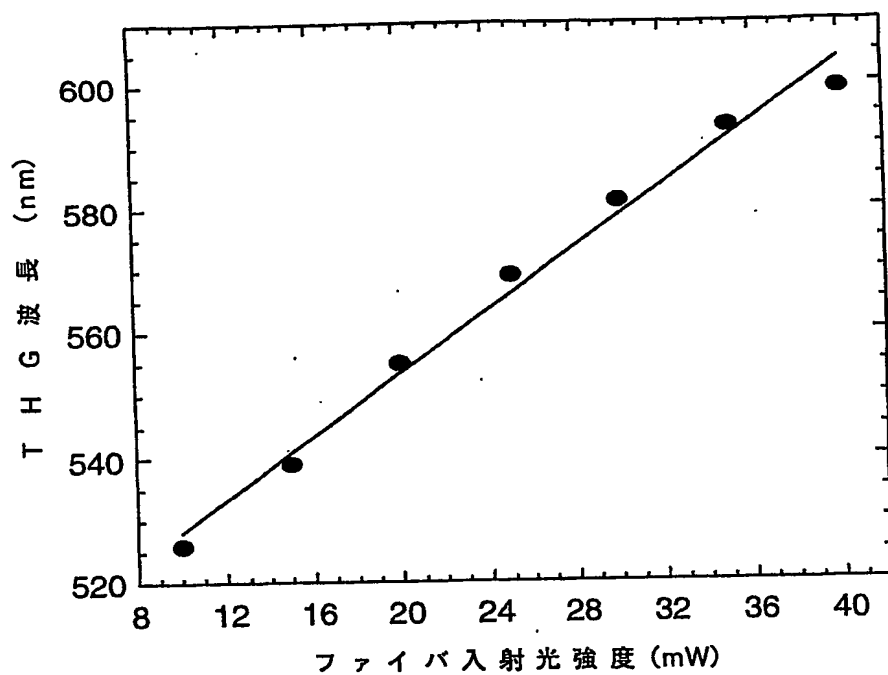
第 6 図



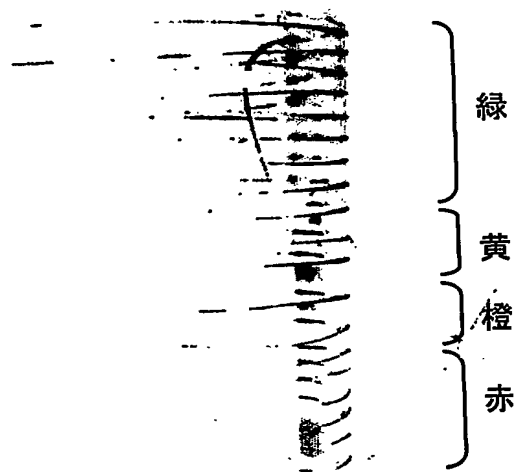
第 7 図



第 8 図



第 9 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/09241

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ G02F1/35

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ G02F1/35

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST, INSPEC, USPTO Web Patent Database

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	ITO, Y. et al., Third harmonic generation of wavelength tunable soliton pulse in optical fiber, Extended Abstracts (The 63rd Autumn Meeting, 2002); The Japan society of Applied Physics, No.3, page 948	1-8.
A	EP 1118904 A1 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORP.), 25 July, 2001 (25.07.01), & WO 00/19268 A & JP 2000-105394 A	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 August, 2003 (27.08.03)

Date of mailing of the international search report
09 September, 2003 (09.09.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F 1/35

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02F 1/35

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICST
 INSPEC
 USPTO Web Patent Database

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PX	ITO, Y. et al. Third harmonic generation of wavelength tunable soliton pulse in optical fiber, Extended Abstracts (The 63rd Autumn Meeting, 2002); The Japan society of Applied Physics, No. 3, p. 948	1-8
A	EP 1118904 A1 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION) 2001. 07. 25 & WO 00/19268 A & JP 2000-105394 A	1-8

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27. 08. 03

国際調査報告の発送日

09.09.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
 佐藤 宙子

2X 9316

電話番号 03-3581-1101 内線 3293